Aus der Staatl. Forschungsabteilung für Kurortwissenschaft
und medizinische Klimatologie beim Hygienischen Institut
der Universität Marburg a. L.
Direktor: Prof. Dr. W. Pfannenstiel.

Untersuchungen des Kerngehaltes der Außen-, Atem- und Pneumothoraxluft.

Eine bioklimatisch-hygienische Studie.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin der Hohen Medizinischen Fakultät der Philipps-Universität Marburg a. L.

vorgelegt von

KARL MACK
Medizinalpraktikant
aus Friedrichshafen a. B.

1937
Buchdruckerei Hermann Bauer
Marburg-Lahn

Angenommen von der Medizinischen Fakultät der Philipps-Universität Marburg a. L. am 17. Februar 1937.

Referent: Prof. Dr. Pfannenstiel.

Gedruckt mit Genehmigung der Fakultät.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung 5

I. Kernzähler und Meßmethode 7

II. Fehlerquellen:

a) Fehlerquellen innerhalb des Kernzählers 8

b) Fehlerquellen durch unrichtige Handhabung des Kernzählers 8

c) Fehlerquellen in der Meßmethodik 10

III. Meßergebnisse:

1. Messungen im Stadtgebiet Marburg 11

2. Ueber die Kernfilterwirkung einer Grünanlage 15

3. Messungen im Sanatorium Sonnenblick bei Marburg . 17

4. Untersuchung des Kerngehaltes menschlicher Ausatmungsluft 18

5. Untersuchung des Kerngehaltes der von einem Pneumothoraxapparat gelieferten Luft und der Luft im Pneumothorax selbst 23

IV. Ueber die medizinische Bedeutung der Kondensationskerne 25

Zusammenfassung 28

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554427_0077

Einleitung.

Für den Arzt gewinnen Betrachtungen klimatischer Faktoren erst dann einen Wert, wenn er sie in Beziehung zum Menschen bringen kann. Alexander von Humboldt, der Begründer der neuzeitlichen Klimalehre, faßte unter den Begriff des Klimas „alle Veränderungen in der Atmosphäre, die unsere Organe merklich affizieren" zusammen. Heute ist diese Begriffsbestimmung zu eng geworden. Wir leben in einer Uebergangszone zwischen Atmosphäre und Erdboden. Hier wirken eine Fülle von Einzelfaktoren, die aus den für diesen Ort gegebenen atmosphärischen und terrestrischen Zuständen resultieren, gleichzeitig, gewissermaßen „im Akkord" (Linke) auf uns ein. Sehr häufig ist es gerade der Wechsel aller dieser Klimafaktoren, der die stärksten Veränderungen am menschlichen Organismus, ja sogar Krankheit auszulösen vermag.

Wenn im folgenden über Untersuchungen eines bestimmten Einzelfaktors, des Kerngehaltes der Luft, berichtet wird, so ist das bioklimatisch nur bedingt zulässig, denn es wird dabei ein Klimafaktor für sich getrennt betrachtet, während doch die Klimawirkung in dem Zusammenspiel der verschiedenen meteorologischen Elemente besteht, dem auf der anderen Seite der Organismus mit seinen mannigfaltigen Reaktionsmechanismen gegenübersteht. Will man aber in die komplizierten Vorgänge zwischen Klima und Organismus mehr Einblick gewinnen, so ist es nicht zu umgehen, einzelne meteorologische Elemente zur Erforschung ihrer biologischen Wirkung aus der Einheit des Klimas herauszugreifen, um ihre physiologische oder pathogene Wirkung unter dem Gesichtspunkt der Ganzheitsbetrachtung beurteilen zu können.

Von den Einzelfaktoren wird der Beeinflussung der Luftbeschaffenheit von seiten der Erde durch gasförmige, flüssige und feste Beimengungen immer mehr Beachtung geschenkt. Man ist heute der Ansicht, daß nicht nur die Hauptgase der Luft, ganz abgesehen von der Bedeutung des Sauerstoffs für die Atmung, sondern auch die in geringen Mengen (etwa 1%) vorhandenen übrigen Gase eine sehr wesentliche bioklimatische Bedeutung besitzen (Linke (1), Israel-Köhler (2)). So bezeichnete Linke (3) die erweiterte Kenntnis von der Zusammensetzung und Struktur der uns umgebenden Luft als den wichtigsten neuen Gesichtspunkt in der medizinischen Klimatologie.

Die Atmosphäre kann nämlich in ihren unteren Schichten, in denen sich die biologischen Vorgänge abspielen, als ein kolloidales System betrachtet werden (Schmauß u. Wigand (4)), in dem das Gasgemisch „Luft" das Lösungsmittel und die darin enthaltenen Suspensionen fester, flüssiger und gasförmiger Natur die kolloiddisperse Phase darstellen. Die atmosphärischen Suspensionen, deren Größe zwischen 1 u. 100 $\mu\mu$ liegt, bestehen aus elektrisch geladenen Teilchen (Ionen), elektrisch indifferenten „Kernen" und unhygroskopischem fein- und grobdispersen Staub. Doch gibt es hier fließende Uebergänge. So sind die Mittel- u. Grossionen meistens auch zugleich Kerne, d. h. sie zeichnen sich neben ihrer elektrischen Ladung noch durch eine besonders starke Hygroskopizität aus. Die hygroskopischen Kräfte der Kerne können als Molekularkräfte auf physikalischer Adsorption oder chemischer Absorption (Affinität der betreffenden Kerne zum Wasser) beruhen, oder auch, wie bei der Kondensationswirkung der Ionen, elektrischer Natur sein (Wigand (5)). Das erklärt die schon lange zuvor von Coulier (6) gemachte Beobachtung, daß unsichtbar in der Luft schwebende „Stäubchen" durch Verringern des Druckes in einem abgeschlossenen Volumen sichtbar gemacht werden können. Hierdurch kondensiert sich der Wasserdampf in Form feinster Tröpfchen an den sogenannten Kondensationskernen.

Die Frage nach der Natur der Kondensationskerne und ihrer Herkunft ist auch heute noch nicht restlos geklärt. Sie bestehen im wesentlichen aus hygroskopischen Gasmolekülen und Molekülkomplexen wie NO_2, NO_3, NH_3, SO_2, SO_3, H_2O_2 usw., die teils der photochemischen Wirkung der ultravioletten Strahlung der Sonne (Aitken (7) und Arbeiten aus dem Marburger Physikalischen Institut (8)) und der elektrischen Vorgänge in der Atmosphäre (Wigand (5)) ihre Entstehung verdanken, teils aus den Verbrennungsprodukten der Kohle stammen (Kießling u. Aitken). Gegebenenfalls können auch der vulkanische Rauch (Aitken), sowie die bei der Verdunstung von Meerwasser in der Luft befindlichen Salze (Melander, Lüdeling (9)) an der Kernbildung beteiligt sein. Von den Ionen sind es die Mittel- und Großionen (Sekundärionen), die durch Annahme elektrischer Ladungen aus Kernen in der Luft entstanden sind.

Die hier durchgeführten Untersuchungen beziehen sich auf die synoptische Verteilung des Kerngehaltes der Luft im Gebiet der Stadt Marburg/L. und des Sanatoriums Sonnenblick (bei Marburg), auf das Verhalten der Kernzahlen in der Ausatmungsluft, sowie auf den Kerngehalt der Pneumothoraxluft und der Luft aus dem dabei verwandten Pneumothoraxapparat. Die Voraussetzung hierfür ist die genaue Kenntnis des dabei verwandten Kernzählers und seiner Fehlerquellen. Deshalb soll hier zunächst die Beschreibung des Apparates und seiner Fehlerquellen folgen.

I. Kernzähler und Meßmethode.

Den ersten auf dem Kondensationsprinzip beruhenden Kernzähler hat John Aitken (10) angegeben. Die in einen Rezipienten eingeführte und feucht gemachte Luft wird hierbei soweit dilatiert, daß an den Kernen Kondensation eintritt. Eine Verbesserung dieses Apparates stellt der von J. Scholz (11) konstruierte Kernzähler dar (s. Abb. 1), mit dem die folgenden Untersuchungen durchgeführt wurden.

Der Scholzsche Kernzähler besteht im Prinzip aus zwei zylindrischen Rohren (s. Abb. 2), von denen das untere r_2 im oberen r_1 wie der Kolben in einem Motorzylinder verschiebbar ist. Beide Zylinder sind oben je durch eine Spiegelglasscheibe verschlossen. Die Scheibe g_1 schließt durch den Gummiring

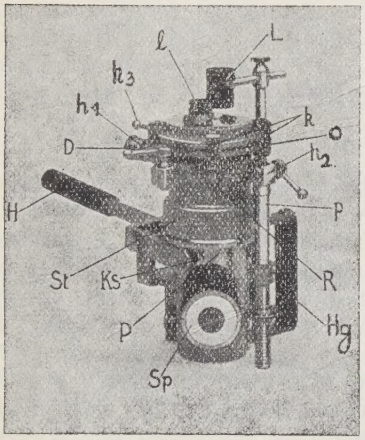

Abb. 1. Der Scholzsche Kernzähler.

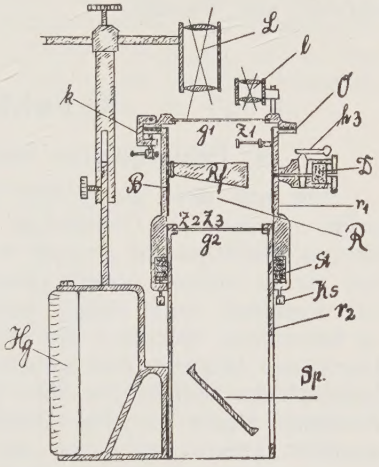

Abb. 2. Querschnitt durch den Scholzschen Kernzähler.

O und durch Anziehen der Zwingen k gegen den oberen Zylinder dicht, die Scheibe g_2 ist im unteren eingekittet. Der obere Zylinder ist nun soweit über den unteren geschoben, daß zwischen den beiden Glasplatten ein zylinderförmiger Hohlraum, der Rezipient R bleibt. Die in dieser Kammer enthaltene Luft, die durch einen darin befindlichen Zylinder aus Filtrierpapier B feuchtgehalten wird, kann durch einen Hebel H (s. Abb. 1) zum Betätigen der Dilatationspumpe P verdünnt werden, wobei sich der obere Zylinder über den unteren nach oben verschiebt. Durch einen Anschlag ist dafür Sorge getragen, daß man stets die gleiche Dilatationsgrenze hat. Die Abdichtung des oberen Zylinders gegen den unteren ist durch eine Stopfbuchse St (s. Abb. 2) gewährleistet, die durch Stellschrauben Ks angezogen werden kann.

Mittels der Lupen L und 1 können die Kerne nach Wahl auf einem der drei im Rezipienten befindlichen Zählgläser Z_1, Z_2 und Z_3 ausgezählt werden. Die in Kapitel III folgenden Kernwerte wurden sämtlich auf Zählglas Z_2 ausgezählt, da sich dieses für die gefundenen Mengen am besten eignete. Im Rezipienten befindet sich noch ein Rührflügel Rf, der ein Durchmischen der Rezipientenluft und damit ein möglichst gleichmäßiges Niederschlagen der Kerne auf den Zählgläsern ermöglicht. Zur Dunkelfeldbeleuchtung dient ein kleiner Spiegel Sp der am offenen Ende des unteren Zylinders angebracht ist und von außen eingestellt werden kann.

Der Apparat hat drei Hähne: Hahn h_1 verbindet den Rezipienten mit der Außenluft, Hahn h_2 den Rezipienten mit der kleinen Einfüllpumpe p und Hahn h_3 dient zum Druckausgleich zwischen Rezipienten und Außenluft. Ein Filter verhindert dabei das Einströmen von Kernen.

II. Fehlerquellen.

a) Fehlerquellen innerhalb des Kernzählers.

Ehe mit dem Kernzähler Messungen vorgenommen werden, sollte immer das Dichthalten der Dilatationspumpe, sowie der kleinen Einfüllpumpe geprüft werden, um Mißerfolge zu verhüten, wie sie in meinen ersten Untersuchungen eintraten. Hierbei war der Rezipient auch durch wiederholtes Dilatieren nicht kernfrei zu bekommen, trotzdem die Stopfbuchse genügend angezogen war. Durch den längeren Nichtgebrauch des Apparates hatten die Lederlamellen der Stopfbuchse ihre Elastizität verloren. Durch erneutes Einfetten dieser Lamellen wurde das Dichthalten des Rezipienten erreicht. Man sollte daher nie unterlassen, während des Nichtgebrauchs die Stopfbuchse zu lockern. Von Zeit zu Zeit sind auch die Hähne nachzusehen. So fand sich in ihnen etwas von dem Fett, das zum Schmieren derselben verwandt worden war.

b) Fehlerquellen durch unrichtige Handhabung des Kernzählers.

Beim Arbeiten mit dem Kernzähler kann man folgendes beobachten: Hat man durch Betätigen der Dilatationspumpe bei geschlossenen Hähnen die Luft im Rezipienten kernfrei gemacht, öffnet dann, wenn sich der Pumpenkolben in Ruhelage befindet, den Hahn h_1 — ohne daß mittels der Einfüllpumpe Luft angesaugt wurde — und schließt ihn wieder, so erhält man nach Durchmischung der Rezipientenluft bei erneuter Dilatation wieder einen Kernausfall. Es strömt also, wie der Versuch zeigt, infolge eines Unterdruckes selbsttätig Außenluft in den Rezipienten ein. Dieser Unterdruck kommt durch irreversible Wärmeleitungsprozesse zu-

stande, die sich beim Dilatieren im Rezipienten abspielen. Die Fehlerquelle kann aber dadurch ausgeschaltet werden, daß man zunächst Druckausgleich über Hahn h_3 erfolgen läßt, dem ein mit Watte, Mull oder Stoff gefülltes Röhrchen als Filter vorgeschaltet ist (siehe Abb. 1 u. 2). Das Filter hat die Aufgabe, die Kerne abzufangen. Die Beschaffenheit des Filters ist aber dabei von besonderer Bedeutung. Ist nämlich das Filter zu dicht, so tritt Druckausgleich auch nach längerem Warten nicht vollständig ein. Ist es nicht genügend dicht, so passieren bei größerem Unterdruck Kerne. Ob Watte, Mull oder Stoff als Filtermasse eingelegt wird, ist unwichtig. Es kommt nur darauf an, daß das Filter so dicht gelegt ist, daß es den Unterdruck vollständig durch völlig kernfreie Luft ausgleicht. Die Größe der Fehlerquelle, die durch eine ungenügende Luftfilterung verursacht wird, ist ganz beträchtlich. Sie kann bei öfterem Dilatieren, und dadurch wachsendem Unterdruck, bis zu 25% betragen und läßt sich leicht bestimmen, indem man Vergleichsmessungen mit Filter und dann — bei gleichen Versuchsbedingungen — unter ohne Filter ausführt (s. Tab. 1).

Tabelle 1.

Kernzahlbestimmung

mit Filter	ohne Filter
28 000	37 000
29 000	34 000
19 000	24 000
19 000	23 000

Eine weitere bei dem Kernzähler auftretende Fehlerquelle wird durch den Rührflügel verursacht. Denn durch zu heftiges Schütteln reißen sich Kerne, die sich aus früheren Messungen niedergeschlagen haben, von ihrer Unterlage, dem Rührflügel und dem Befeuchtungszylinder wieder ab und kommen so nochmals zur Tropfenbildung. Bringt man nämlich nach Reinigen der Rezipientenluft den Rührflügel durch kräftiges Schütteln des Apparates in heftige Bewegung und dilatiert nun wieder — ohne daß die Hähne dabei geöffnet wurden — von neuem, so fallen wieder Kerne aus und zwar entsprechend dem Kraftaufwand beim Schütteln mehr oder weniger. Durch vorsichtige und geeignete Handhabung läßt sich aber diese Fehlerquelle so gut wie ganz ausschalten.

Beim Einfüllen der Luftproben in den Rezipienten hat man darauf zu achten, daß der vordere Teil des Rührflügels nicht vor der Einlaßöffnung steht. Ist dies nämlich der Fall, so kann beim Einfüllen der Luftprobe ein Teil der Kerne am Rührflügel haften bleiben, die dann der eigentlichen Messung verloren gehen.

Bei der Beschreibung der Meßmethode wurde erwähnt, daß man die Rezipientenluft durch Dilatieren kernfrei machen kann. Dasselbe erreicht man, wenn man den Apparat $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde

sich selbst überläßt (eventuell muß dann noch ein kleiner Rest der im Rezipienten befindlichen Kerne durch Dilatation entfernt werden). Im Rezipienten findet also ein selbsttätiger Kernausfall statt. Wenn man daher nach dem Einfüllen der Luftprobe das Mischen der Rezipientenluft und das Auszählen der Kerne nicht unmittelbar anschließt, fällt ein Teil der Kerne schon vor der Zählung aus und so können auch auf diese Weise wieder Kerne der eigentlichen Messung verloren gehen.

Hier sei noch eine Unannehmlichkeit erwähnt, die beim Arbeiten mit dem Kernzähler fast dauernd auftritt. Nämlich das Beschlagen der Gläser. Dadurch ist es oft schwer oder gar unmöglich, die Zählgläser im Rezipienten zu erkennen. Ein Auszählen der Kerne ist dann unmöglich. Man kann dem Beschlagen bis zu einem gewissen Grade vorbeugen, indem man das Filtrierpapier nur ganz gering befeuchtet, zumal damit die für die Kernbildung notwendige Feuchtigkeit längst vorhanden ist. Es sind auch verschiedene Mittel angegeben worden (11), die das Beschlagen der Gläser zu verhindern imstande sein sollen. Hier wurden mit einem von der I. G. Farbenindustrie freundlicherweise zur Verfügung gestellten Präparat „Luran G“ (flüssig) Versuche angestellt, das gegenüber den früheren Präparaten verbessert sein soll. Doch hatte es sich zumindest für diesen speziellen Zweck als nicht geeignet erwiesen. In zu dünner Schicht aufgetragen verhindert es das Beschlagen der Gläser nicht genügend, wird es aber in der erforderlichen Dicke aufgetragen, so bleibt die Masse nicht homogen und fließt zu trüben Tropfen zusammen. Da bei der hier nötigen Betrachtung mittels Lupe schon kleinste Trübungen stören, und außerdem das Präparat alle 3—4 Tage neu aufgetragen werden muß, — was immer mit dem Oeffnen des Kernzählers verbunden ist — so scheint es allein schon aus letzterem Grunde bequemer zu sein, das Beschlagen der Gläser durch kurzes Auflegen der Hand jeweils vor den Messungen zu beseitigen. Mit anderen Präparaten fehlen die Erfahrungen. Es müßte aber doch möglich sein, das Beschlagen der Gläser von vornherein dadurch verhindern zu können, daß man den Rezipienten wenigstens nach oben hin mit einem doppelten (wärmeisolierenden) Glasverschluß ausstatten würde. Versuche, bei denen eine Glasscheibe so auf den oberen Glasverschluß aufgeklebt wurde, daß beide eine schmale Luftschicht einschlossen, besserten den Zustand schon deutlich.

c) Fehlerquellen in der Meßmethodik.

Selbstverständlich müssen die Messungen unter gewissen Kautelen vor sich gehen. Will man nicht gerade Stadt- oder Industriekerne zählen, muß man sich vor gewissen Verunreinigungen der Luft, wie sie durch Kraftwagenabgase und ähnliches zustande kommen, aufs sorgfältigste hüten. Um bei vergleichenden Messungen an einer Stelle immer die gleichen Versuchsbedingungen zu haben,

scheint es vorteilhaft zu sein, den Kernzähler während des Einfüllens so zu halten, daß die Einlaßöffnung immer der Luftströmung entgegensieht und der Wind freien Zutritt zum Apparat hat. Am besten hält man beim Einfüllen der Luftprobe den Kernzähler etwas von sich ab und über Kopfhöhe.

III. Meßergebnisse.

1. Messungen im Stadtgebiet Marburg.

Die Feststellung des Kerngehaltes der Luft gibt uns einen gewissen Maßstab für die Beurteilung des Aerosols. Bekanntlich ist aber der Kerngehalt der Luft nicht nur abhängig von meterologischen Faktoren wie Luftkörpern, Sonneneinstrahlung usw., sondern er wird auch von lokalen Einflüssen in besonders hohem Maße bestimmt. So sind die Kernzahlen über Städten und industriereichen Gegenden bedeutend höher, wie dies W. Schmidt (12) für die Stadt Wien und ferner Amelung und Landsberg (13) für Frankfurt-Main im Vergleich zum benachbarten Taunusgebiet nachweisen konnten.

Ausgehend von diesen Gesichtspunkten wurden die einzelnen Meßstellen so ausgewählt, daß jede für ein bestimmtes Gebiet typisch ist. Es wurden Meßpunkte ausgesucht, die sich vom Schloßberg quer durch das Lahntal bis zur Spiegelslusthöhe verteilen, wie dies in Abb. 3 dargestellt ist. Eine im Lahntal selbst, unmittelbar am Flußbett, zwei weitere auf den höchsten Erhebungen, die das Tal nach Westen und Osten hin begrenzen und noch je einen an den beiden Berghängen. An allen Meßstellen wurden, je nach der Streuung der Einzelwerte, 5—10 Messungen hintereinander ausgeführt und daraus das Mittel genommen.

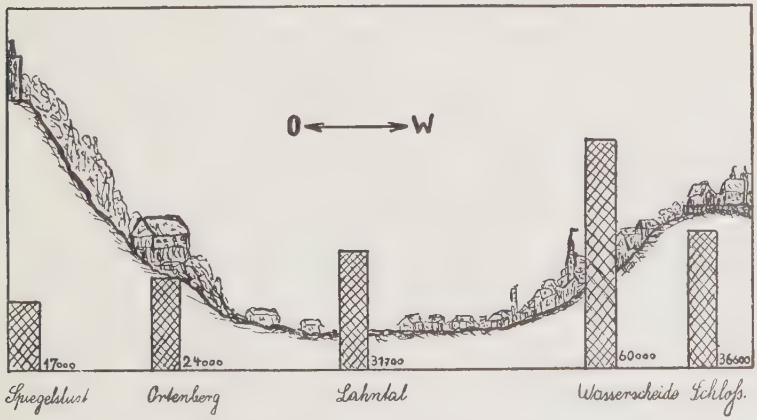

Abb. 3. Die synoptische Verteilung des Kerngehaltes der Luft im Stadtgebiet Marburg-L., bildl. dargest.

Tabelle 2.

Der Kerngehalt der Luft an 7 Meßstellen des Stadtgebiets Marburg.

Zeit	Spiegelslust		Ortenberg	Lahntal		Wasserscheide	Schloß	Tagesdurchschnitte (ohne Wasserscheide)	Luft-Körper	Bewölkung
	Wald	Turm		Flußaue	Steg					
7. 6. 35	25 000	—	27 000	29 000	39 000	58 000	48 000	32 000	I/TM	heiter-wolkenl.
8. 6. 35	25 000	—	30 000	33 000	39 000	48 000	44 000	33 000	TM	heiter-wolkenl.
11. 6. 35	34 000	—	48 000	55 000	68 000	58 000	58 000	49 000	TM/M	wolkenlos
14. 7. 35	25 000	63 000	39 000	58 000	63 000	63 000	30 000	38 000	PC	wolkenlos
27. 7. 35	9 700	—	9 700	17 000	19 500	27 000	12 000	12 000	M	heiter-wolkenl.
28. 7. 35	5 000	5 000	6 000	9 700	12 000	39 000	7 000	7 000	M/X/TM	bedeckt
22. 8. 35	14 500	20 000	20 000	32 000	—	90 000	58 000	31 000	C	wolkenlos
23. 8. 35	12 000	18 000	20 000	39 000	—	53 000	39 000	27 500	C	wolkenlos
26. 8. 35	25 000	—	48 000	55 000	—	100 000	80 000	52 000	PM/M	bedeckt-heiter
27. 8. 35	8 000	12 000	12 000	19 000	—	40 000	20 000	15 000	M/M	bedeckt
4. 9. 35	9 700	—	12 000	13 000	—	39 000	14 500	12 300	X/M	bedeckt-heiter
9. 9. 35	7 000	7 000	18 000	20 000	—	58 000	22 000	17 000	I/PM	bedeckt
10. 9. 35	25 000	—	32 000	50 000	—	110 000	48 000	39 000	PM/P	wolkenl.-heiter
13. 9. 35	12 000	18 000	14 500	14 500	—	58 000	32 000	18 000	TM	heiter-bedeckt
Durchschnitt	16 900	—	24 000	31 700	—	60 000	36 600	—	—	— —

Wie die Abbildung schematisch zeigt, nimmt die Bebauung vom Schloßberg zur Spiegelslusthöhe hin ständig ab. Letztere liegt schon außerhalb des bebauten Stadtgebietes, 180 Meter über dem Lahntal und inmitten des Waldes, der diesen östlichen Bergrücken bedeckt. Hier wurde mit 16 900 Kernen in 1 Kubikzentimeter der niedrigste Kerngehalt festgestellt (s. Abb. 3 u. Tab. 2). An der Meßstelle vor dem Kurhotel Ortenberg, das am Waldrand, nur wenig über dem Fuße des Berges und der Stadt schon näher gelegen ist, steigen die Kernzahlen schon beinahe um die Hälfte (24 000 Kerne in 1 Kubikzentimeter) an. Im Lahntal selbst, das die Grenze des nur wenig bebauten Kurortviertels gegen den dicht besiedelten Stadtbezirk bildet, wurden noch höhere Werte gefunden (31 700 Kerne/1 ccm). Es zeigt sich hier, wie rasch schon auf hart an die Stadt heranreichenden Höhen der Kerngehalt der Luft abnimmt. Doch kommt als Ursache für die niedrigen Kernwerte auf Spiegelslust noch die Filterwirkung des Waldes hinzu. Das ließ sich durch Vergleichsmessungen bestätigen. An sieben verschiedenen Tagen wurden nämlich die Messungen auf Spiegelslust nicht nur unten im Walde vorgenommen, sondern auch gleichzeitig über dem Walde, auf der Plattform eines dort befindlichen 31 Meter hohen Turmes. Dabei zeigte sich, daß die auf dem Turm festgestellten Kernzahlen fast immer höher, manchmal sogar beträchtlich höher lagen als die unten im Walde gefundenen (s. Tab. 2).

Aehnlich bemerkenswerte Ergebnisse wurden im Lahntal erzielt an zwei Stellen, die nur 10 Meter auseinander lagen. Der Einfachheit halber versuchte ich, zunächst, die Messungen auf einem über die Lahn führenden Fußgängersteg durchzuführen. Vergleichsmessungen zeigten aber regelmäßig eine erhebliche Differenz gegenüber den in der Flußaue selbst festgestellten Werten (s. Tab. 2). Nach den ersten 6 Tagen wurde daher nur noch auf der neben der Lahn befindlichen Rasenfläche gemessen, da die höheren Kernzahlen auf dem Steg nur durch den zu dieser Zeit ziemlich starken Fußgängerverkehr erklärt werden können. Es fragt sich, ob der bei dem starken Verkehr auf dieser Brücke aufgewirbelte Erdstaub diese Differenz der Kernzahlen verursacht haben kann. Im allgemeinen wird dem Staub terrestrischen Ursprungs keine, oder wenigstens nur eine geringe Kondensationswirkung beigemessen (Wigand(5), Israel-Köhler(2)), sei es, weil der eigentliche Staub im Verhältnis zu anderen kernbildenden Substanzen nur eine geringe Anzahl von Teilchen in der Volumeinheit enthält, oder weil Staubteilchen zu wenig hygroskopisch sind, um als Kondensationskerne zu wirken. Dabei ist unter „Staub“ mineralische Partikelchen, besonders von Quarz, Kalk und Ton, ferner organische Körperchen, wie Bakterien, Sporen (Aeroplankton) und fein verteilte Reste von Tieren und Pflanzen, schließlich auch Kohlenstaub und Ruß zu verstehen (Wigand(5)).

Der relativ hohe Kerngehalt der Luft (36 600 Kerne/1 ccm)

am Meßpunkt „Schloß“ läßt sich leicht erklären. Denn diese Meßstelle liegt mitten über Marburg, auf dem etwa 100 Meter hohen Schloßberg, von dessen Hängen die Stadt fast allseitig bis ins Tal hinabreicht. Es wurde also gewissermaßen im Rauchfang der Stadt gemessen. Da aber Marburg keine Industrieanlagen besitzt, die den Kerngehalt der Luft nennenswert beeinflussen könnten, so muß in diesem Falle nur der durch den Hausbrand verursachte Rauch hierfür verantwortlich gemacht werden.

Das Maximum aller Zahlen mit 60 000 Kernen in 1 Kubikzentimeter wurde auf der „Wasserscheide“ gefunden, einem der verkehrsreichsten Straßenpunkte der Innenstadt. Hier scheint die Ursache weniger in dem durch den Verkehr aufgewirbelten Straßenstaub gelegen zu sein, als vielmehr in den Kraftwagenabgasen, denen — als Verbrennungsprodukte von Kohlederivaten — eine noch größere Bedeutung für die Kernbildung zuzukommen scheint, als dem Rauch im gewöhnlichen Sinne.

Es wurde auch versucht, Zusammenhänge zwischen dem Kerngehalt der atmosphärischen Luft und verschiedenen meteorologischen Faktoren, besonders den Luftkörpern festzustellen. Vergleicht man aber in Tabelle 2 die Durchschnittswerte, die aus den an den einzelnen Meßstellen (ausgenommen Wasserscheide) festgestellten Kernzahlen für jeden Tag errechnet wurden, mit den Luftkörpern an den entsprechenden Tagen, so läßt sich aus diesen wenigen Messungen eine eindeutige Beziehung nicht feststellen. Auch Landsberg (14) fand eine Gliederung der Kernzahlen nach Luftkörpern als wenig aufschlußreich. Der Hauptgrund ist aber wohl der, daß, wie ein Vergleich der Tagesdurchschnitte mit der Bewölkung zeigt (Tab. 2), heitere Tage, ganz unabhängig von Luftkörpern, durchschnittlich viel höhere Kernzahlen aufweisen als trübe, sodaß dadurch die Abhängigkeit des Kerngehaltes von den Luftkörpern nicht deutlich zum Ausdruck kommt. Die durch die Sonnenstrahlung bedingte Konvektion vermag eben den Kerngehalt der Luft in außerordentlich starkem Maße zu beeinflussen. Der Kerngehalt steigt mit der Intensität und der Dauer der Sonnenstrahlung, was sich nicht nur am täglichen Gang, sondern sicherlich auch am jahreszeitlichen Gang feststellen ließe. So fiel bei den Messungen auf, daß die Kernzahlen im Monat September durchschnittlich niedriger waren als die der Monate Juni und Juli und daß im Oktober die Sommerwerte überhaupt nicht mehr erreicht wurden.

Landsberg (14) beobachtete den täglichen Gang der Kernzahlen und fand das Maximum in den frühen Nachmittagsstunden und das Minimum in der Zeit vor Sonnenaufgang. Die Amplitude ist aber an trüben Tagen denkbar gering, an heiteren dagegen sehr beträchtlich.

Die vorliegenden Messungen wurden zwischen 10 und 13 Uhr durchgeführt, also zu einer Zeit, wo die Kernzahlen ihren täglichen

Höchstwert erreichten. Es kam nicht darauf an, möglichst niedrige Kernzahlen zu finden, sondern es sollte vor allem der Einfluß der Bebauung gezeigt werden. Da für die Messungen meist heitere bis wolkenlose Sommertage ausgesucht wurden, so stellen diese Kernzahlen für Marburg annähernd Sommermaximalwerte dar. Den Jahresmittelwert für das Marburger Kurviertel habe ich nicht festgestellt. Er dürfte bei etwa 15 000 Kernen in 1 Kubikzentimeter liegen, übersteigt also nur wenig den für Kurorte erwünschten Höchstwert von 10 000 Kernen/1 ccm.

In Abbildung 4 ist der 24 stündige Gang der Kernzahlen im Lahntal als Mittelwert an zwei wolkenlosen Tagen in den Monaten Juni und Juli (a) und ebenso der 24 stündige Gang an einem heiteren Tage (b) und an einem bedeckten Tage (c) graphisch dargestellt.

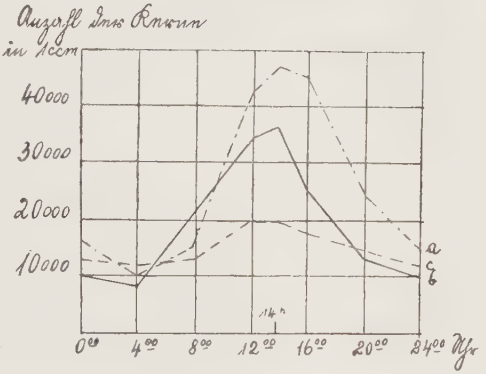

Abb. 4.
Der 24 stündige Gang der Kernzahlen an einem
a) wolkenlosen,
b) heiteren und
c) trüben Tage.

2. Ueber die Kernfilterwirkung einer Grünanlage.

Im Anschluß an diese Messungen wurde versucht, festzustellen, ob und inwieweit ein etwa 100 Meter breiter und 250 Meter langer, allseitig dicht mit Bäumen und Hecken bewachsener Park (Schülerpark, jetzt Kurpark) imstande ist, als Kernfilter zu wirken. Entlang der einen Längsseite des Parkes verläuft die Autostraße, entlang der anderen ein doppelspuriger Bahndamm, beide unmittelbar angrenzend und stark frequentiert.

Vergleichsmessungen an 6 verschiedenen Tagen brachten aufschlußreiche Ergebnisse, die in Abbildung 5 bildlich dargestellt sind.

Die Kernzahlen im Park lagen immer niedriger als auf der Straße. Eine Ausnahme wurde an einem Sonntag beobachtet. Im Gegensatz zu den Werktagen lag der Verkehr auf der Straße fast still, sodaß die Luft im Bereich der Autostraße relativ kernarm befunden wurde. Im Park wurden diesmal viel höhere Werte festgestellt. Als Ursache fand sich, daß aufgetretener Nordwind den Rauch aus dem nahe gelegenen Bahnhof und Lokomotivenhaus

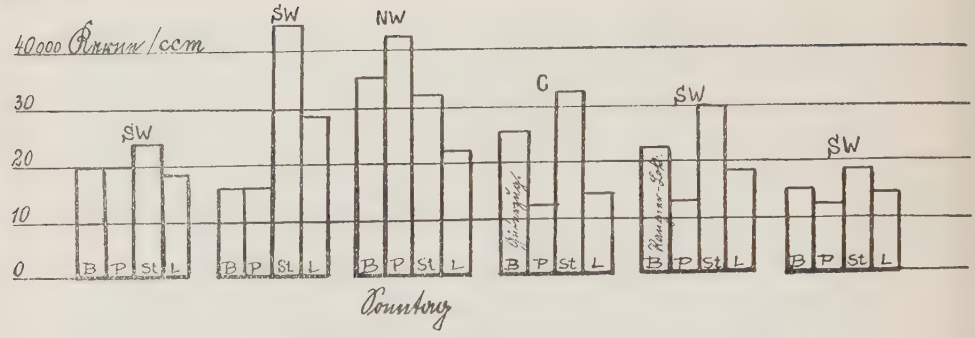

Abb. 5. Bildl. Darstellg. der Meßergebnisse im Kurpark.
B = Bahndamm, P = Kurpark, St = Autostraße, L = Lahnaue.

nach dem Park herübertrug, während die Straße im Windschatten des Parkes lag. Die auf dem Bahndamm gemessenen Zahlen waren im allgemeinen von gleicher Größenordnung wie die des Parkes, besonders, wenn bei dem meistens herrschenden Süd-West-Wind die Bahnlinie im Windschatten des Parkes lag. Nach dem Passieren eines Güterzuges und einer Rangierlokomotive stiegen die Werte plötzlich stark an, um aber schon nach wenigen Minuten wieder zur Norm zu fallen. Eine Aenderung des Kerngehaltes im Park war dabei nicht nachzuweisen. Eine Filterwirkung von Hecken oder Bäumen ist in diesem Falle nicht anzunehmen. Vielmehr hat man den Eindruck, daß eine kleinere Kernmasse, z. B. die einer Rauchwolke, im atmosphärischen Aerosol schnell und schon auf geringe Distanz unmerklich verteilt wird. So ist es auch zu erklären, daß die Werte, die in der allerdings etwas tiefer gelegenen Lahnaue gemessen wurden, die der Autostraße parallel auf der entgegengesetzten Seite des Parkes verläuft, im Vergleich zu denen der Straße schon viel niedriger lagen, obgleich die beiden Meßstellen nur etwa 5 Meter auseinanderliegen und sich zwischen beiden weder Baum noch Strauch befindet. Auch die Tatsache, daß, etwa nach dem Passieren eines Dieselmotorwagens der Kerngehalt plötzlich auf das doppelte und dreifache anstieg, um schon nach wenigen Minuten wieder zur Norm zu fallen, spricht dafür, daß sich künstlich erzeugte kernbildende Massen im atmosphärischen Aerosol schnell verteilen. Nur die enorm hohen Werte einzelner Messungen bedingen in solchen Fällen den erhöhten Durchschnittswert.

Wenn es sich hier also einerseits um einen hygienischen Faktor, nämlich um die Verunreinigung der Luft durch künstlich erzeugte kernbildende Substanzen handelt, so sehen wir andererseits in der Tatsache, daß kleinere Mengen künstlicher Produkte das atmosphärische Aerosol nicht nennenswert zu beeinflussen vermögen, das Naturgegebene, das Klimatische des Aerosols.

Zeigten schon die Vergleichsmessungen auf Spiegelslusthöhe

(s. S. 13) eine deutliche Kernfilterung durch Wald, so ist nach den Untersuchungen auch von einem Park beschriebener Art und Dimension eine, wenn auch geringe Kernfilterwirkung anzunehmen. Sie kam in diesem selbst noch wenig zum Ausdruck, zeigt sich aber deutlicher, wenn man unter Berücksichtigung der Windverhältnisse den Kerngehalt der Luft vergleicht, bevor und nachdem diese den Park durchweht hat.

Die Filterwirkung von Grünanlagen scheint jedoch für die Kerne nicht so ausgeprägt zu sein wie für die gröberen Beimengungen der Luft, besonders für Staub. Sie ist nach Löbner (15) für diesen außerordentlich groß.

3. Messungen im Sanatorium Sonnenblick bei Marburg.

Das Sanatorium Sonnenblick, eine Tuberkuloseheilstätte der Landesversicherungsanstalt Hessen-Nassau, liegt ungefähr 5 km von Marburg entfernt, etwa 100 Meter höher als die Stadt. Es ist allseitig von Wald umgeben und nur auf der Südseite, unmittelbar vor den Liegebalkons, schließt sich eine halbkreisförmige freie Wiesenfläche an. In den Monaten Juli bis Oktober 1935 wurde wiederholt der Kerngehalt der Luft im Bereich des Sanatoriums Sonnenblick und an verschiedenen Stellen des Stadtgebietes beobachtet. In Tab. 3 sind die Ergebnisse vergleichend zusammengefaßt.

Tabelle 3.

Der Kerngehalt der Luft

im Bereich des Stadtgebietes	Sanatoriums
12 000	9 700
20 000	15 000
25 000	12 000
48 000	34 000
25 000	9 700
17 000	13 000
53 000	39 000
14 500	9 700
20 000	9 700
13 000	12 000
20 000	18 000
17 000	7 300
12 000	12 000
24 000	14 500
18 000	14 500

Ganz allgemein kann also gesagt werden, daß die Luft im Stadtgebiet Marburg bedeutend kernreicher ist als die der Umgebung des Sanatoriums Sonnenblick. Der Weg von Marburg nach Sonnenblick wurde im Kraftwagen zurückgelegt, sodaß die Messungen zeitlich nur unbedeutend auseinanderliegen.

Gleichzeitig mit den Messungen im Park wurden auch solche auf den Liegebalkons des Sanatoriums und in den Patientenzimmern

vorgenommen. Die langen und breiten Liegebalkons des Sanatoriums, das nach dem Dosquet-Typ gebaut ist, sind nach vorne, nach den Seiten und zur Hälfte auch nach oben hin frei und springen zweistöckig terrassenförmig in den Park vor. Die ganze Südfront der Patientenräume ist von den Balkons nur durch eine Glaswand getrennt, sodaß bei ganz geöffneten Fenstern die Zimmer mit den Balkons eine Einheit bilden.

In den Sommermonaten, wo das immer der Fall war, ließen sich keine wesentlichen Unterschiede im Kerngehalt, weder zwischen Park und Balkon, noch zwischen diesem und den Patientenzimmern feststellen. Amelung und Landsberg (13) fanden bei ähnlichen Versuchen bei 25 000 Kernen in 1 ccm Freiluft gegenüber einer Gartenliegenhalle keine Differenz, in einer Hausliegehalle das 1,15fache und in einem leicht gelüfteten, aber geheizten Sanatoriumszimmer das 1,85 fache des Kerngehaltes der Freiluft. Egloff (16) beobachtete dagegen in Davos, entgegen der allgemeinen Vorstellung, daß die Raumluft mehr Verunreinigungen, also auch mehr Kerne enthält, eine niedrigere Kernzahl im Zimmer als in der Außenluft.

Die Versuche wurden im Oktober wiederholt, als im Sanatorium die Warmwasserheizung in Gang gesetzt worden war. Jetzt erwies sich sogar in ganz gelüfteten, aber geheizten Patientenzimmern der Kerngehalt als deutlich höher gegenüber dem auf dem Balkon festgestellten. Es ließ sich, bei gleicher Heizungsdauer und -Intensität, auch die Abhängigkeit des Kerngehaltes der Zimmerluft von verschieden starker Lüftung feststellen (s. Abb. 6).

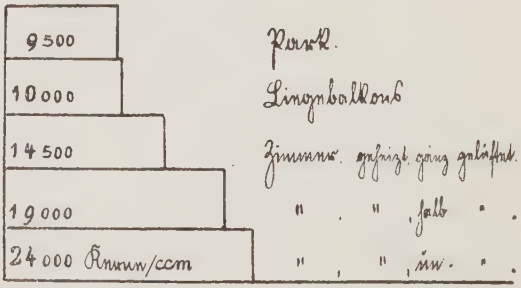

Abb. 6. Der Kerngehalt in Frei- und Zimmerluft.

4. Untersuchung des Kerngehaltes menschlicher Ausatmungsluft.

Von den molekular- und kolloiddispersen Beimengungen der Luft sind insbesondere die elektrisch geladenen Teilchen (Ionen) auf ihre Art, Menge und biologische Wirkung untersucht worden (Dessauer, Straßburger, Happel, Janitzky (17), Flach und Köhler (18)). Fast ausnahmslos wird jetzt auch dem elektrisch indifferenten Anteil des Aerosols, den Kernen, sowie den Ionen, ungeachtet ihrer elektrischen Ladung, eine biologische Wir-

kung beigemessen (Lahmeyer und Dorno (19)). Schmauß und Wigand (4) betonen die hygienische Bedeutung der „industriellen Keime“ und auch Amelung und Landsberg (13) nehmen eine schädliche Wirkung der Kerne an, zumindest, soweit sie in industrienahen Gebieten aus Abgasen und Verbrennungsprodukten stammen. Die Ansichten von Linke (1) (3) und Israel-Köhler (2) wurden bereits erwähnt.

Die Atemwege bilden ohne Zweifel die Angriffsfläche für das Aerosol. Denn was die Größe der Kerne und Ionen anbetrifft, so können diese noch leichter in die Alveolen gelangen als der Feinstaub gewisser Stoffe und Mineralien, die gewerbehygienisch bekannt ist (erhöhte Tuberkulosesterblichkeit, Pneumonokoniosen). Aehnlich wie bei den Ionen wurde daher versucht, das Zurückbleiben der Kerne in den Atemwegen festzustellen. Wiegand (5) veröffentlichte als erster zwei solcher Messungen und hält die Ausatmungsluft für kernarm. Amelung und Landsberg (13) führten neuerdings ausführlichere Untersuchungen durch. Dabei atmeten die Versuchspersonen durch eine Maske, die durch Einwegventile Ein- und Ausatmungsluft voneinander trennten. Sie fanden, daß in Zimmerluft 23%, in Freiluft 38% der eingeatmeten Kerne im Körper zurückgehalten werden.

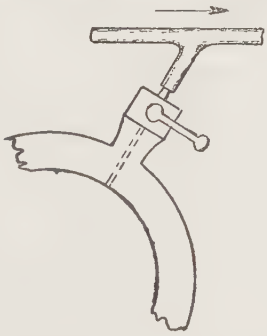

Abb. 7.
Versuchsanordnung zur Untersuchung der Ausatmungsluft.

Von mir wurden 8 Personen in 28 Versuchsreihen in ähnlicher Weise geprüft. Die angewandte Methode war einfach und entsprach den physiologischen Verhältnissen am ehesten: Die Versuchsperson atmete durch eine Glasröhre aus, die mit ihrem Seitenstück, bequem abnehmbar, mit der Einlaßöffnung des Kernzählers verbunden war (s. Abb. 7). Die Einatmung erfolgte vollkommen frei und unbehindert aus dem Raum bzw. Freien. Die Glasröhre hatte ein ganz bestimmtes, empirisch festgestelltes Lumen, und das Seitenstück bildete einen spitzen Winkel mit dem Hauptstück. Dadurch war es selbst bei forciertem Ausatmen unmöglich, daß Luft durch Druck unkontrollierbar in den Kernzähler gelangte. Die Ausatmungsluft hatte freien Abfluß. So konnte mittels der kleinen Einfüllpumpe die gewünschte Luftprobe auch in jeder Phase dem Exspirationsstrom entnommen und in den Recipienten angesaugt werden.

Zunächst sei über Ergebnisse berichtet, die bei Untersuchung von Ein- und Ausatmungsluft im Freien und in verschieden stark geheizten und gelüfteten Zimmern erzielt wurden (s. Tab. 4). Versuchsreihen unter gleichen Bedingungen sind in einem Durchschnittswert zusammengefaßt.

Aus folgender Tabelle 4 geht hervor, daß die Versuchspersonen im Freien etwa 60%, in geheizten und ungelüfteten Räumen sogar bis zu 90% der eingeatmeten Kerne in ihren Atemwegen zurückhielten.

Tabelle 4.

Die Kernretention in den Atmungsorganen im Freien und in verschieden geheizten und gelüfteten Räumen.

	Kerne in 1 ccm Einatmungsluft:	Im Körper zurückgehalten in Zahlen	in %
Im Freien:	11 000	6 500	59%
Im Zimmer,			
ungeheizt, gelüftet:	12 000	8 000	67%
ungeheizt, ungelüftet:	14 500	10 800	75%
geheizt (Ofen), ungelüftet:	14 500	12 000	83%
Warmwasserheizung, wenig gelüftet:	20 000	18 000	90%
Warmwasserheizung, ungelüftet:	24 000	22 000	92%

Bei den Messungen fiel auf, daß bei ein und derselben Versuchsreihe die Kernzahlen in der Ausatmungsluft um so höhere Werte annahmen, je früher die Luftprobe dem Exspirationsstrom entnommen wurde. Die in Tabelle 4 genannten Zahlen stellen also insofern Maximalwerte dar, als die Proben jeweils erst am Schlusse einer Exspiration (Reserveluft) entnommen wurden.

Dies gab auch die Veranlassung, einmal vergleichend den Kerngehalt der Ausatmungsluft in verschiedenen Exspirationsphasen zu untersuchen. Ein Spirometer zeigte dabei die ausgeatmete Luftmenge an, nach der die Luftprobe entnommen wurde. So ließ sich in einer Serie von Versuchsreihen immer wieder feststellen, daß der

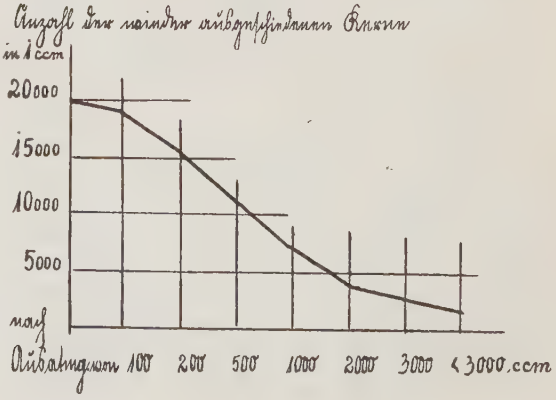

Abb. 8.
Der Kerngehalt der Ausatmungsluft in verschiedenen Exspirationsphasen. Kerngehalt der Einatmungsluft 20000 ccm.

Kerngehalt der Luft einer Exspiration, in verschiedenen Phasen untersucht, nicht gleich bleibt, sondern einen ganz bestimmten Gang aufweist, der in Abbildung 8 zum Ausdruck kommt.

Wie aus Abbildung 8 hervorgeht, zeigt die Luft des schädlichen Raumes den stärksten, die der Reserveluft den geringsten Kerngehalt. Es werden also um so mehr Kerne im Körper zurückbleiben, je tiefer die Luft in die Atemwege eindringt, d. h., je mehr absorbierende Oberfläche den Kernen zur Verfügung steht. Dabei kommt es anscheinend im Bereich des ganzen Respirationstraktes zur Kernretention. Die Kerne dürften also sowohl von der Schleimhaut der Bronchien als auch vom Alveolarepithel absorbiert werden. Dadurch wird die Annahme L i n k e s (1) gestützt, daß es auch in den Lungenbläschen zur Kernabsorption komme. Gerade in den Alveolen scheint der größte Teil der Kerne zurückzubleiben.

Will man daher weitere Untersuchungen über die Angriffspunkte und die Wirkungsart der Kerne anstellen, so wird das an verschiedenen Stellen des Respirationstraktes unterschiedliche Absorptionsvermögen zu berücksichtigen sein. Es ist unbedingt notwendig, bei Untersuchungen über den Kerngehalt der Ausatmungsluft jeweils gleichzeitig die bis zur Messung schon ausgeatmete Luftmenge festzustellen und Vergleichsuntersuchungen stets dieselbe Exspirationsphase zugrunde zu legen.

Die Versuche, deren Ergebnisse Seite 20, Tab. 4 zusammengefaßt sind, ließen ferner Zusammenhänge zwischen dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft und dem Absorptionsvermögen der Atemwege vermuten. Es wurden daher vergleichende Versuchsreihen bei verschiedener relativer Feuchtigkeit der Außenluft angestellt (50% und 80%). Um im Versuchsraum die gewünschte Feuchtigkeit zu erreichen, ohne dabei den Kerngehalt der Luft zu ändern, wurde destilliertes Wasser im elektrischen Kocher verdampft, da offene Flammen, wie z. B. ein Bunsenbrenner, und verdampfendes salzhaltiges Wasser den Kerngehalt der Luft stark in die Höhe treiben.

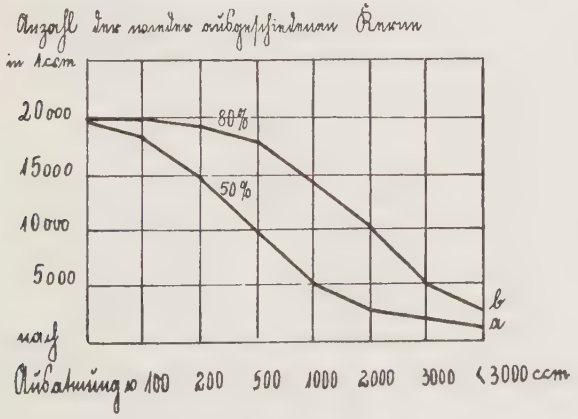

Abb. 9.
Der Kerngehalt der Ausatmungsluft in verschiedenen Exspirationsphasen untersucht, a) bei trockener Einatmungsluft (50% rel. F.). b) bei feuchter Einatmungsluft (80% rel. F.). Kerngehalt der Einatmungsluft 20 000 ccm.

Es ergab sich, daß bei feuchter Einatmungsluft weniger Kerne in den Atemwegen zurückgehalten werden als bei trockener. Das verschieden starke Absorptionsvermögen bei trockener und bei feuchter Luft zeigte sich im Bereich der Respirationsluft am deutlichsten, während im Bereich der Luft des schädlichen Raumes und in dem der Reserveluft die Differenz geringer wurde (s. Abb. 9).

In diesem Zusammenhang sei noch einmal auf die Seite 18, Abb. 6 angegebenen Ergebnisse hingewiesen, die die Abhängigkeit des Kerngehaltes der Luft von Heizung und Lüftung zeigen. In geheizten und schlecht gelüfteten Räumen werden also nicht nur viel mehr Kerne eingeatmet, sondern durch die Trockenheit der Luft auch prozentual mehr Kerne zurückgehalten. Deshalb ist die Bemerkung Amelungs (20) durchaus zutreffend, daß Menschen, die ohne ausreichende Lüftung in geheizten Zimmern schlafen, auch im kernarmen Gebirgsklima sich sozusagen eine „Großstadtatmosphäre" schaffen.

Bemerkenswert wäre noch, daß zu Beginn der Versuche mit feuchterer Einatmungsluft die Ergebnisse schwankten. Erst nachdem die Versuchspersonen etwa 15 Minuten die feuchtere Luft eingeatmet hatten, stellten sich konstante Werte ein. Die Ursache dürfte darin gelegen sein, daß sich die Schleimhäute der Atemwege erst allmählich auf die veränderten Feuchtigkeitsverhältnisse einstellen. Die Beobachtung weist darauf hin, daß die Größe der Kernabsorption nicht allein vom Zustand der Einatmungsluft, sondern vielleicht in noch höherem Maße vom Zustand der Atemwege abhängt, also etwa, ob die Schleimhäute anämisch und trocken, oder ob sie hyperämisch, ödematös und mit Ausschwitzungen belegt sind.

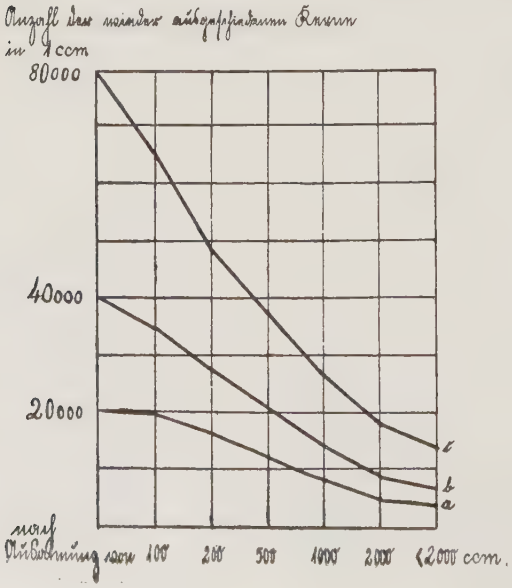

Abb. 10.
Der Kerngehalt der Ausatmungsluft in verschiedenen Exspirationsphasen
a) bei 20 000
b) bei 40 000
c) bei 80 000
Kernen in 1 ccm Einatmungsluft.

Amelung und Landsberg (13) berichten von Kernzählungen in einem Rauchzimmer, in dem bei sehr hohem Kerngehalt etwa 10% der eingeatmeten Kerne im Körper zurückgehalten würden. Auch von mir wurden Untersuchungen durchgeführt, um den Grad der Kernretention in den Atemwegen bei verschieden starkem Kerngehalt der Einatmungsluft festzustellen. Bei diesen Versuchen blieb die Temperatur (21°) und die relative Feuchtigkeit (54%) gleich. Nur der Kerngehalt wurde im Zimmer durch Tabakrauch von 20 000 auf 40 000 und dann auf 80 000/1 ccm geändert. Ein Ventilator sorgte für gleichmäßige Verteilung der Kerne in der Raumluft.

Es fand sich, daß die Kernabsorption unabhängig von der Kernkonzentration der Inspirationsluft prozentual gleich bleibt (s. Abb. 10), d. h., sind mehr Kerne im Raum, werden entsprechend mehr Kerne eingeatmet und entsprechend mehr in den Lungen zurückgehalten.

5. Untersuchung des Kerngehaltes der von einem Pneumothorax-Apparat gelieferten Luft und der Luft im Pneumothorax selbst.

Bei den Untersuchungen handelt es sich um einen der gebräuchlichsten Pneumothorax-Apparate, dessen Grundprinzip auf die Angaben Ludolf Brauers zurückzuführen ist (s. Abb. 11). Hierbei wird durch Verlagern einer Flüssigkeit (Sublimat) von einem Standgefäß nach einem beweglichen Gefäß die Luft aus dem Raum ange-

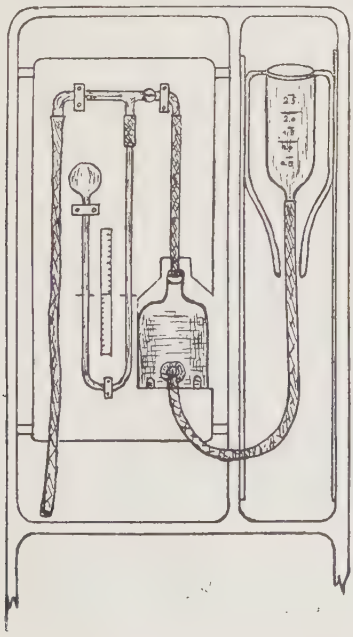

Abb. 11.
Pneumothoraxapparat.

saugt und dann entsprechend durch Heben des beweglichen Gefäßes durch das Schlauchsystem, das mit der Pneumothoraxnadel in Verbindung gebracht wird, in den Thorax getrieben.

Bei der Kernzählung brauchte lediglich das schon Seite 33, Abb. 7 beschriebene Dreiwegestück an den Füllschlauch angeschlossen zu werden. Im übrigen erfolgte die Messung genau so wie bei der Untersuchung der Ausatmungsluft. Auf diese Weise war es auch möglich, das ganze System zuvor mit der zu untersuchenden Luft durchzuspülen. Dann erst wurde das gewünschte Luftquantum mittels der kleinen Einfüllpumpe in die Rezipienten des Kernzählers gesogen.

In 5 Versuchsreihen, bei denen der Kerngehalt der Raumluft dem der Luft aus dem Pneumothoraxapparat gegenübergestellt wurde, ergab sich, daß dieser imstande ist, überraschend viel Kerne zurückzuhalten (s. Tab. 5).

Tabelle 5.

Der Kerngehalt der Luft vor und nach Durchströmen des Pneumothorax-Apparates.

Zimmerluft	Luft aus dem Pneu.-Apparat
30 000	4 500
12 500	2 000
10 000	4 000
10 000	4 500

Dabei spielt der Mullstreifen, der sich, um grobe Verunreinigungen zurückzuhalten, in der Glasröhre am Ende des Schlauches befindet, keine Rolle, wie durch vergleichende Versuche mit und ohne diesen Mullstreifen festgestellt werden konnte. Die Kernretension läßt sich nur so erklären, daß die Kerne auf der Oberfläche der Sublimatlösung und an den feuchten Wänden des Standgefäßes zur Adsorption kommen.

Je nach dem Gehalt der Luft an relativer Feuchtigkeit werden 85—55% der Außenluft-Kerne vom Pneumothoraxapparat zurückgehalten.

Die Untersuchung der Pneumothoraxluft wurde bei 30 Kranken jeweils vor der Nachfüllung ausgeführt. Im Interesse der Patienten konnte immer nur eine Messung vorgenommen werden (einmal erfolgten bei einem Patienten 2 Messungen vor der Füllung und bei einem andern je eine Messung vor und nach der Füllung). Die Auffindung einer brauchbaren Methode, um 2—5 ccm Luft von der Brusthöhle ohne Vermischung mit Außenluft zum Kernzähler zu leiten, bereitete zunächst Schwierigkeiten. Diese ließen sich jedoch auf nachstehend geschilderte Weise überwinden. Das Verfahren war für den Patienten völlig unbeschwerlich und gefahrlos.

Zunächst wurde wie üblich nach dem Einstich der Druck im Thorax abgelesen, dann mittels des Pneumothoraxapparates etwas

Luft aus der Brusthöhle in den Schlauch angesogen, damit dieser frei von atmosphärischer Luft war. Nach Abklemmen des Schlauches wurde nun statt des Pneumothoraxapparates der Kernzähler mit der Brusthöhle in Verbindung gebracht, und zwar so, daß nach Abnehmen der Klemme auf kürzestem Wege je nach Wahl 2—5 Kubikzentimeter Pneumothoraxluft in den Rezipienten angesaugt und untersucht werden konnte.

Als Ergebnis zeigte sich, daß in 1 ccm Pneumothoraxluft 800 bis 3600 Kerne nachweisbar waren. Der Mittelwert aller Messungen liegt bei 2150 Kernen. In dem einen Fall, bei dem der Kerngehalt vor und nach der Nachfüllung gemessen wurde, fand sich kein nennenswerter Unterschied.

IV. Ueber die medizinische Bedeutung der Kondensationskerne.

Die biologische Wirkung der Kerne ist noch nicht sichergestellt. Ein mechanischer Einfluß auf die Schleimhaut der Atemwege, wie er bei den grobdispersen Partikelchen des Gewebe- und Industriestaubes zustandekommt, ist (wahrscheinlich) auszuschließen, da diese feinsten atmosphärischen Beimengungen zum größten Teil keine kristallinische Struktur haben, bzw. ihre Größe und Masse hierfür zu gering ist. Den Effekt eingeatmeter Ionen auf den lebenden Organismus führte man zunächst auf ihre elektrischen Eigenschaften zurück. Doch weist Israel-Köhler (2) im Zusammenhang mit dem in letzter Zeit etwas ins Stocken geratenen Ionenproblem darauf hin, daß die alleinige Betrachtung der elektrischen Eigenschaften des Aerosols zu eng gefaßt sei und durch die Bestimmung der chemisch-stofflichen Natur der Ionen und der Suspensionen überhaupt eine notwendige Ergänzung erfahren müsse. Auch Linke (3) betont die chemische Natur der atmosphärischen Suspensionen und glaubt, daß deren positive oder negative Ladung mehr eine zufällige Nebenerscheinung sei.

Hierauf werden die weiteren Untersuchungen gerichtet sein müssen. Es ist anzunehmen, daß das Aerosol, je nach seiner Zusammensetzung verschiedene und in der Hauptsache wohl pharmakologische Wirkungen besitzt. Teilweise werden sich diese, z. B. bei der Schilddrüsenbeeinflussung durch Jodspuren (Cauer (21), Hellmuth Uffenorde (22)) der Luft, bereits nach Inhalation kleinster Mengen (in homöopathischer Dosis) bemerkbar machen. Wenn man bedenkt, daß die Lungen eines Menschen täglich 10—20 cbm Luft ventilieren, und von dieser Luft wenigstens ein Drittel ihrer Beimengungen zurückgehalten werden, so entspricht das bereits einigen Milligrammen Substanz. Es ist nicht anzunehmen, daß die jenseits der mikroskopischen Sichtbarkeit gelegenen Kerne durch die Tätigkeit des Flimmerepithels aus den Atemwegen herausgeschafft werden.

Man wird deshalb in Zukunft das Aerosol nicht nur quantitativ zu erfassen haben, sondern auch versuchen müssen, es qualitativ noch weiter zu analysieren, wie es die chemische Klimatologie erstrebt. Doch steht dieses Gebiet noch ganz in seinen Anfängen. Es ist bis jetzt eigentlich nur von H. Cauer (21) ausgiebiger bearbeitet worden. Aerztlich verwertbare Erfolge werden sich hier nur durch engste Zusammenarbeit chemischer, physikalischer und medizinischer Fachleute erzielen lassen. „Immer mehr und mehr dringt die Ueberzeugung durch, daß die Wirkung des Klimas auf den Organismus nicht allein in Kälte- und Strahlungsreizen auf die Haut besteht und sich auch nicht in den Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen der eingeatmeten Luft erschöpft, sondern daß gerade die in geringer Menge in der Luft vorhandenen Teilchen — sei es pharmakologisch, sei es katalytisch, sei es elektrisch — auf die Schleimhäute der Atmungsorgane, wahrscheinlich sogar auf die Zellen selbst, mit der die Luft in der Lunge in Berührung kommt, physiologisch feststellbar einwirken“ (Linke (23)).

Darüber hinaus kann man sich sehr wohl vorstellen, daß durch das membranartige respiratorische Epithel der Alveolen hindurch Kerne sogar unmittelbar in die Blutbahn gelangen und so auf das vegetative Nervensystem direkten Einfluß gewinnen können. Amelung und Landsberg (13) berichten über besonders hohen Kerngehalt unter der Quarzlampe infolge der dabei produzierten Nitrose-Gase und im Zusammenhang damit über die bekannte Tatsache, daß manche Menschen, besonders solche von labilem vegetativen Nervensystem, Höhensonnenbestrahlungen schlecht vertragen. Es komme zu ähnlichen Erscheinungen, wie man sie auch unter meteorologischen Einflüssen, die mit einer Veränderung des Kerngehaltes der Luft einhergehen, beobachten kann und allgemeines Unwohlsein mit Schwindelgefühl, Kopfdruck, Unruhe und Brechreiz zu verursachen imstande sind. Da diese Reaktionen sofort auftreten (noch unter der Bestrahlung), während die eigentlichen Bestrahlungswirkungen durch das ultraviolette Licht sich erst später zeigen, dürften die erwähnten Nebenerscheinungen weniger strahlungsbedingt als auf die Einatmung der entstandenen Kerne zurückzuführen sein. Dieser Zusammenhang ist insofern bedeutungsvoll, als wir ja annehmen, daß die klimatischen und atmosphärischen Umweltfaktoren bei ihrer Einwirkung auf den Organismus im allgemeinen am vegetativen Nervensystem angreifen.

So hatten schon einige Forscher den Plan gefaßt, aus kernbildenden Substanzen Allergene zu eliminieren (W. Storm van Leeuven †, Israel-Köhler (24)). Wir unterscheiden bekanntlich Haus- und Klimaallergene, aber obwohl wir viele Allergene kennen (z. B. Blütenstaub als Ursache des Heufiebers bei dazu Disponierten und viele Hausallergene als auslösender Faktor des Asthma bronchiale), so können wir doch in vielen Fällen die den Asthmaanfall auslösenden Faktoren noch nicht ermitteln. Auch

die Tatsache, daß es für Asthmatiker kein ausgesprochenes Heilklima gibt und sich der eine Asthmaleidende bei Wohnortwechsel plötzlich beschwerdefrei fühlt, obwohl die Orte vielleicht nur wenige Kilometer auseinanderliegen und das Klima im Ganzen kaum eine Aenderung aufweist, während der Zustand eines andern Kranken in derselben Lage sich nicht ändert, spricht dafür, daß hier doch die Verschiedenheit örtlich klimatischer Bedingungen eine ausschlaggebende Rolle spielt. Es liegt nahe, besonders in Fällen von ausgesprochenem Klimaasthma die Ursache in der Beschaffenheit des Aerosols zu suchen, das seiner Struktur und Zusammensetzung nach einen sehr variablen Faktor darstellt.

Nach Angaben Böhms (25) wurden Asthmatiker, die von Bad Reichenhall aus mit der Seilbahn auf den Predigtstuhl gebracht worden waren, mit nur zwei Ausnahmen schon während der Auffahrt völlig beschwerdefrei. Zwei Patienten mit schwersten Zuständen, die zur Talstation getragen werden mußten, konnten in der Höhe Spaziergänge bis zu 20 Minuten, sogar mit etwas Steigung ausführen. Vergleichende Untersuchungen einzelner Klimafaktoren im Tal und auf dem Predigtstuhl ergaben lediglich bei der Kernzählung ganz auffallende Unterschiede. Die Kernzahlen zwischen Tal und Höhe verhielten sich wie 5:1.

Es wäre natürlich wünschenswert, auch etwas über die Natur dieser Kerne zu erfahren. Es ist sehr wohl möglich, daß der höhere Kerngehalt im Tal auf eine ganz bestimmte kernbildende Substanz zurückgeführt werden kann. Sicherlich spielt hier nicht nur die Menge der vom Körper aufgenommenen Kerne, die entsprechend dem Kerngehalt der Einatmungsluft, ihrem Feuchtigkeitsgehalt, dem ventilierten Luftquantum, der Atemtiefe und dem Zustand der Atemwege sehr verschieden sein kann, eine wesentliche Rolle, sondern auch die Qualität der Kerne. Deren Einfluß kann sich möglicherweise sowohl physiologisch als auch therapeutisch, unter Umständen sogar pathogen auswirken, je nach der Zusammensetzung des Aerosols.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß auch Zusammenhänge zwischen den atmosphärischen Suspensionen und den sogenannten „Erkältungen“ der Luftwege bestehen. Doch darf die Beschaffenheit des Aerosols keineswegs als alleiniger erkältungsauslösender Faktor angesehen werden. Wissen wir doch, daß man sich schon durch naßkalte Füße — wohl auf reflektorischem Wege — einen Schnupfen holen kann.

Zweifellos kommt der Beschaffenheit des Aerosols, das wir ständig mit der Luft einatmen, nicht nur bioklimatische, sondern auch stärkste hygienische Bedeutung zu. Linke (3) führt die kolloidale Natur der Atmosphäre sogar nur in geringem Maße zurück auf kosmische Einflüsse, sondern in der Hauptsache auf eine Wirkung der Erdoberfläche und des Lebens auf der Erdoberfläche, d. h., im wesentlichen auf künstliche Verbrennungsprozesse, wo-

bei er über Großstädten und Industriegegenden weniger den verhältnismäßig groben Staub und Rauch meint, sondern neben den Mittel- und Großionen besonders die Kerne. Die Erforschung des atmosphärischen Aerosols ist also ebenso Aufgabe der Klimatologie wie der Gesundheitswissenschaft, welche die Verhütung aller von innen und außen auf den Menschen einwirkenden Schädlichkeiten zur Aufgabe hat.

Zusammenfassung.

Kernzählungen in Marburg ergaben den höchsten Kerngehalt der Luft über dem dichtest bebauten Stadtgebiet.

Der Kerngehalt wird stärker beeinflußt durch Bewölkung und Sonnenstrahlung als durch Luftkörperwechsel.

Die Filterwirkung von Grünanlagen ist für Kerne geringer als für Staub.

Versuche im Sanatorium Sonnenblick, das in kernarmer Atmosphäre, außerhalb Marburgs gelegen ist, ergaben stärkste Kernzunahmen in geheizten und ungelüfteten Zimmern, während die Luft ungeheizter, offener Krankenzimmer in ihrem Kerngehalt der Außenluft entspricht.

Die Untersuchung des Kerngehaltes menschlicher Ausatmungsluft ergab im Freien eine Kernretention von 60%, in geheizten, ungelüfteten Zimmern bis zu 90%.

Je tiefer die Luft in die Atemwege eindringt, desto größer ist die Kernretention. Für Vergleichsmessungen muß daher das ausgeatmete Luftquantum mitbestimmt werden.

Je geringer die relative Feuchtigkeit der Außenluft ist, um so mehr Kerne werden bei der Einatmung zurückgehalten. Im übrigen bleibt die Stärke der Kernretention unter sonst gleichen atmosphärischen Bedingungen prozentual dem jeweiligen Kerngehalt der Luft.

Ein Pneumothoraxapparat hält 55—85% der Außenluftkerne zurück.

Die in 1 ccm Pneumothoraxluft ermittelten Kernzahlen sind sehr gering und schwanken zwischen 800 und 3600.

Literatur.

(1) Linke: Die Medizinische Welt 1931, S. 474.
(2) Israel-Köhler: Vortrag auf der Hamburger Tagung der Deutsch. Meteorolog. Gesellsch. am 5. Okt. 1933. Bioklimat. Beiblätter d. Meteorolog. Zeitschr. 1934, S. 32.
(3) Linke: Vortrag auf der Wiesbadener Bioklimat. Tagung am 28. März 1935. Bioklimat. Beiblätter d. Meteorolog. Zeitschr. 1935, S. 169 und Sonderdruck.
(4) Schmauß und Wigand: Die Atmosphäre als Kolloid. Verlag Viehweg. Braunschweig 1929.
(5) Wigand: Meteorolog. Zeitschr. 1913, S. 10.
(6) Coulier: Pharmacie. 22, 165 (1875).
(7) Aitken: Trans. Roy. Soc. of Edinbourgh 39, 15 (1900), Proc. Roy. Soc. of Edinbourgh 31, 478 (1911), 32, 183 (1912).
(8) Barkow: Versuche über Entstehung von Nebel und dessen optische Eigenschaften bei Wasserdampf und einigen anderen Dämpfen .... Dissertation Marburg 1906.
Bieber: Untersuchungen über die Kondensation von Wasserdampf in Gegenwart von Ozon, Stickstoffoxyden und Wasserstoffsuperoxyd. Insbesondere über die Kerne des blauen Nebels. Dissertation Marburg 1911.
Pringal: Ueber den wesentlichen Einfluß von Spuren nitroser Gase auf die Kondensation von Wasserdampf. Dissertation Marburg 1907.
(9) Lüdeling: III. Aeronaut. Mitt. 7, 321 (1903).
(10) Aitken: Trans. Roy. Soc. of Edinbourgh 35, I, 1 (1887/88), Proc. Roy. Soc. of Edinbourgh 16, 135 (1888/89).
(11) Scholz: Meteorolog. Zeitschr. 1932, S. 381.
(12) Schmidt: Meteorolog. Zeitschr. 1918, S. 281.
(13) Amelung und Landsberg: Bioklimat. Beiblätter d. Meteorolog. Zeitschr. 1934, S. 49.
(14) Landsberg: Bioklimat. Beiblätter d. Meteorolog. Zeitschr. 1934, S. 125.
(15) Löbner: Veröffentlichung des Geophysikalischen Instituts der Universität Leipzig 1935.
(16) Egloff: Ueber das Klima im Zimmer und seine Beziehungen zum Außenklima. Dissertation Zürich 1934.
(17) Dessauer, Straßburger, Happel, Janitzky: Zehn Jahre Forschung auf physikalisch-medizinischem Grenzgebiet, Leipzig 1931, S. 94.
(18) Flach und Köhler: Strahlentherapie 1933, S. 401.

(19) Lahmeyer und Dorno: Assuan. Braunschweig 1932.
(20) Amelung: Der Balneologe 1934, S. 495.
(21) Cauer: Der Balneologe: 1934, S. 242.
(22) H. Uffenorde: Der Balneologe 1934, S. 510.
(23) Linke: Der Balneologe 1934, S. 10.
(24) Israel-Köhler: Bioklimat. Beiblätter d. Meteorolog. Zeitschr. 1935, S. 129.
(25) Böhm: Bericht auf der Wiesbadener Bioklimat. Tagung am 28. März 1935 und Sonderdruck.

Es ist mir nun noch eine angenehme Pflicht, allen Förderern und Helfern bei dieser Arbeit meinen herzlichsten Dank auszusprechen:

Herrn Professor Dr. W. Pfannenstiel, meinem verehrten Lehrer, für seine große Anteilnahme am Fortgang der Arbeit, für seinen außerordentlich wertvollen Rat und für den mir aus der Staatlichen Forschungsabteilung für Kurortwissenschaft und medizinische Klimatologie beim Hygienischen Institut der Universität Marburg (Direktor: Prof. Dr. W. Pfannenstiel) zur Verfügung gestellten Kernzähler und die übrigen Instrumente.

Herrn Dr. phil. H. Flohn für die Anregung zu dieser Arbeit.

Fräulein Dr. phil. K. Dörffel für ihre guten Ratschläge, besonders auf physikalisch-meteorologischem Gebiet und ihre jederzeit bereite Hilfe.

Herrn Professor Dr. Klapp und Herrn Professor Dr. Schwenkenbecher für die Erlaubnis, Messungen im Sanatorium Sonnenblick ausführen zu dürfen.

Herrn Dozent Oberarzt Dr. O. Schedtler — dem ich auch die Anregung zur Untersuchung der Pneumothoraxluft verdanke — und

Herrn Dr. med. E. Wegemer für seine guten Hinweise und freundlichen Hilfeleistungen bei der Untersuchung der Pneumothoraxluft.

Lebenslauf.

Am 5. April 1909 wurde ich, Karl Mack, als Sohn des Postassistenten Johannes Mack in Friedrichshafen am Bodensee geboren. Daselbst besuchte ich die Realschule bis zur Unterprima und danach die Realschule in Biberach a. d. Riß (Württbg.), die ich im Frühjahr 1929 mit dem Zeugnis der Reife verließ.

In den vorklinischen Semestern studierte ich an den Universitäten München, Wien, Bonn, Freiburg und Marburg. In Bonn erwarb ich mir den für das Medizinstudium erforderlichen Lateinnachweis, in Marburg legte ich im Sommer 1933 die vorärztliche Prüfung ab.

Nach meinem klinischen Studium in München und Marburg bestand ich im Juni 1936 die ärztliche Staatsprüfung in Marburg. Mein Medizinalpraktikantenjahr begann ich mit der Inneren Zeit an der Universitätspoliklinik zu Marburg.

Meine akademischen Lehrer waren:

Aschoff, Baumann, Baur †, Boeminghaus, Bumke, Dormans, Durig, Ebbecke, Eimer, Eisenreich, Eymer, Fischel, Fürth, v. Goebel, Hempel, Hochstetter, Jahrmärker, Junkersdorf, Kehrer, Kißkalt, Klapp, Klewitz, Kretschmer, Krüger, Lexer, Loebell, Mollier, Mondry, Naujoks, Nauk, Neumann, Pernkopf, Pfannenstiel, v. Pfaundler, Pfeiffer, Quast, Rehn, Rückardt, Ruete, Schaffer, Schittenhelm, Schrader, Schweidler, Schwenkenbecher, Sobotta, Starlinger, Stepp, Stöhr, Straub, Tiemann, Uffenorde, Versé, Wessely, Wieland, v. Zumbusch.